

*М. В. Майсурадзе, М. А. Рыжков, Ю. В. Юдин,
А. А. Куклина, О. А. Сурнаева*
УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург
20983@rambler.ru

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ СТАЛИ 25Г2С2Н2МА

Проведено численное моделирование процесса охлаждения цилиндрических заготовок из стали 25Г2С2Н2МА. Показано, что результаты расчетов согласуются с данными, полученными при металлографическом и дюрOMETрическом исследовании цилиндрических заготовок после закалки в масло и охлаждения в потоке воздуха.

Ключевые слова: численное моделирование, термическая обработка, охлаждение, сталь, микроструктура, твердость.

The numerical simulation of the cooling process of the steel 25G2S2N2MA cylindrical parts is performed. The calculated results are in good agreement with experimental data obtained by microstructure and hardness analysis of the steel parts cooled in quenching oil and in air flow.

Key words: numerical simulation, heat treatment, cooling, steel, microstructure, hardness.

Определение требуемой интенсивности охлаждения стальных деталей является важной технологической задачей при разработке режима термической обработки, т. к. позволяет рационально подобрать такую среду охлаждения, которая обеспечит как высокий уровень прочности, так и низкий уровень закалочных напряжений. Целесообразно для этих целей использовать численное моделирование процесса охлаждения, что позволяет сократить материально-временные затраты на разработку режима термической обработки деталей.

Проведено численное моделирование процесса закалки в масло и охлаждения в потоке воздуха заготовки цилиндрической формы диаметром 100 мм и длиной 200 мм из стали 25Г2С2Н2МА. Охлаждение велось от температуры 925 °С. Моделирование выполнено по методике, приведенной в [1].

В результате расчетов установлено, что при охлаждении в потоке воздуха по сечению заготовки достигается скорость охлаждения от 0,2 до 0,4 °С/с (рис. 1, а). При охлаждении в масле (рис. 1, б) скорость охлаждения, достигаемая в поверхностных слоях (9...10 °С/с) значительно превышает скорость охлаждения осевой зоны (3...4 °С/с).

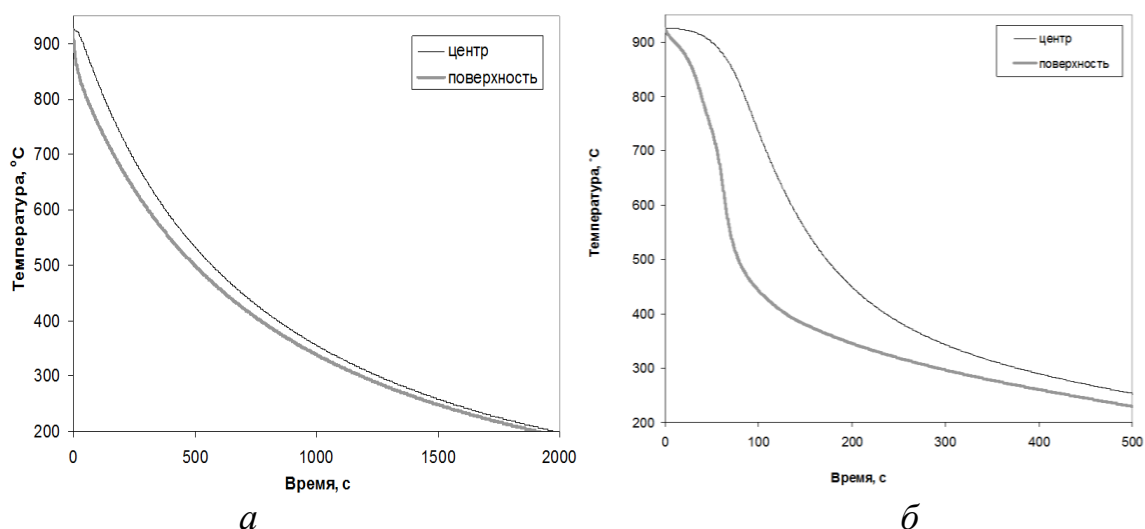


Рис. 1. Расчетные траектории охлаждения заготовок диаметром 100 мм из стали 25Г2С2Н2МА: *а* – в потоке воздуха; *б* – в масле

Для экспериментального подтверждения результатов моделирования было проведено охлаждение цилиндрических заготовок диаметром 100 мм из стали 25Г2С2Н2МА в разных средах. Измерение твердости по сечению заготовок показало, что при охлаждении в потоке воздуха вблизи поверхности цилиндра достигается уровень твердости 41...42 HRC. По мере приближения к осевой зоне уровень твердости снижается до 36...37 HRC (рис. 2, *а*). Вблизи поверхности в структуре наблюдается преимущественно бейнит с небольшим количеством мартенсита (рис. 3, *а*). На глубине 25 мм в структуре наблюдается в основном верхний бейнит, а количество нижнего бейнита и мартенсита незначительно (рис. 3, *б*).

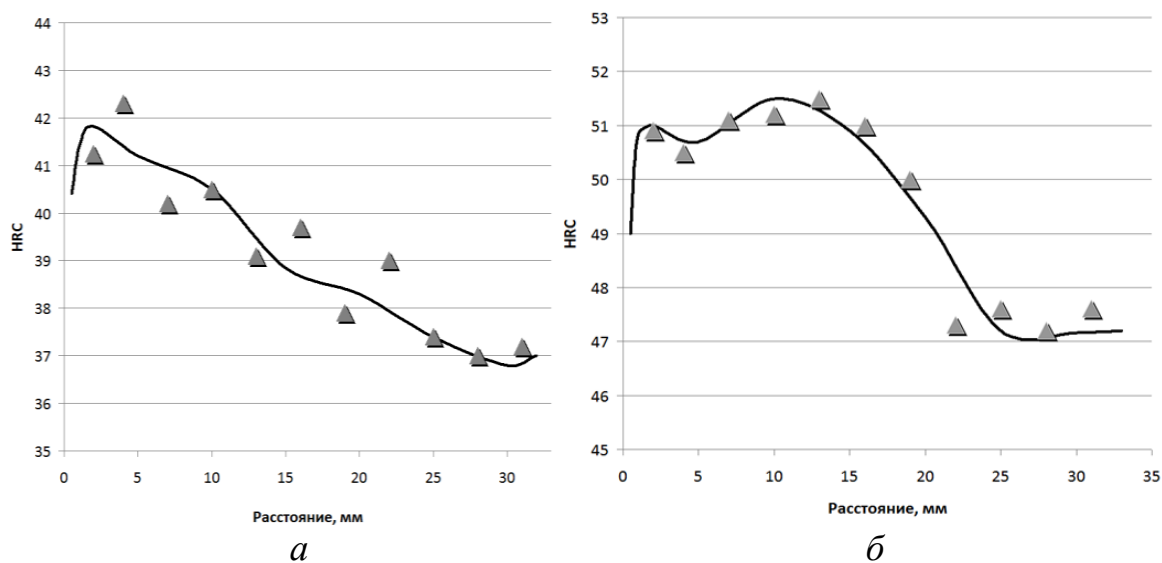


Рис. 2. Распределение твердости по сечению заготовки диаметром 100 мм из стали 25Г2С2Н2МА после охлаждения: *а* – в потоке воздуха; *б* – в масле

В структуре заготовки после охлаждения в масле на глубине 5 мм от поверхности наблюдается преимущественно мартенсит с небольшим количеством бейнита (рис. 4, *а*). На глубине 25 мм от поверхности количество бейнита в структуре заметно возрастает (рис. 4, *б*), что объясняет снижение твердости от 50...52 HRC до 47...48 HRC (рис. 2, *б*).

Результаты расчетно-экспериментального исследования хорошо согласуются с данными дилатометрических исследований стали 25Г2С2Н2МА, которые показали, что при охлаждении образцов со скоростью 0,1...0,3 °С/с формируется преимущественно структура бейнита с уровнем твердости 37...41 HRC, а при охлаждении со скоростью 1...10 °С/с – смешанная структура мартенсита и нижнего бейнита с твердостью 48...50 HRC.

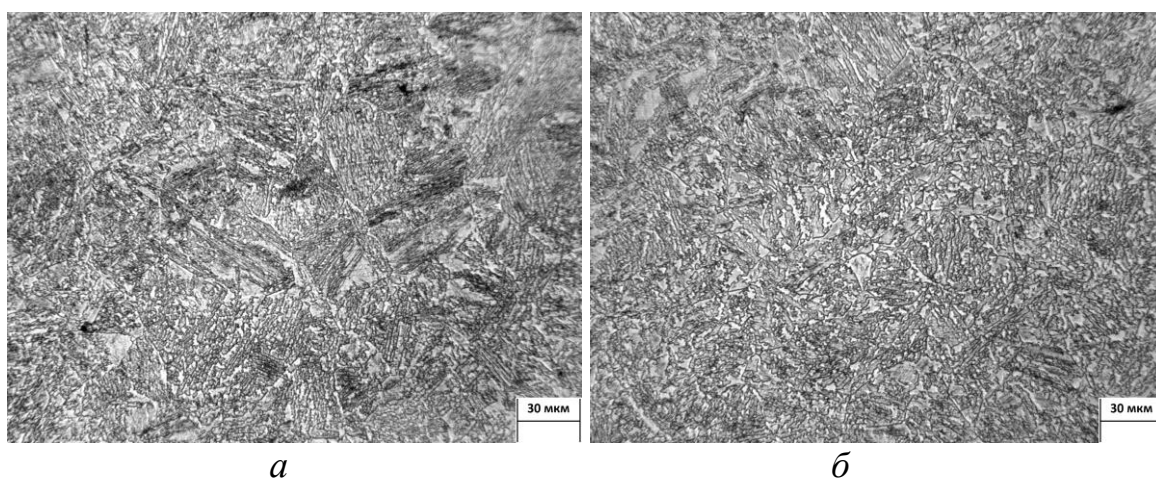


Рис. 3. Микроструктура заготовки диаметром 100 мм из стали 25Г2С2Н2МА после охлаждения в потоке воздуха: *а* – 5 мм от поверхности; *б* – 25 мм от поверхности

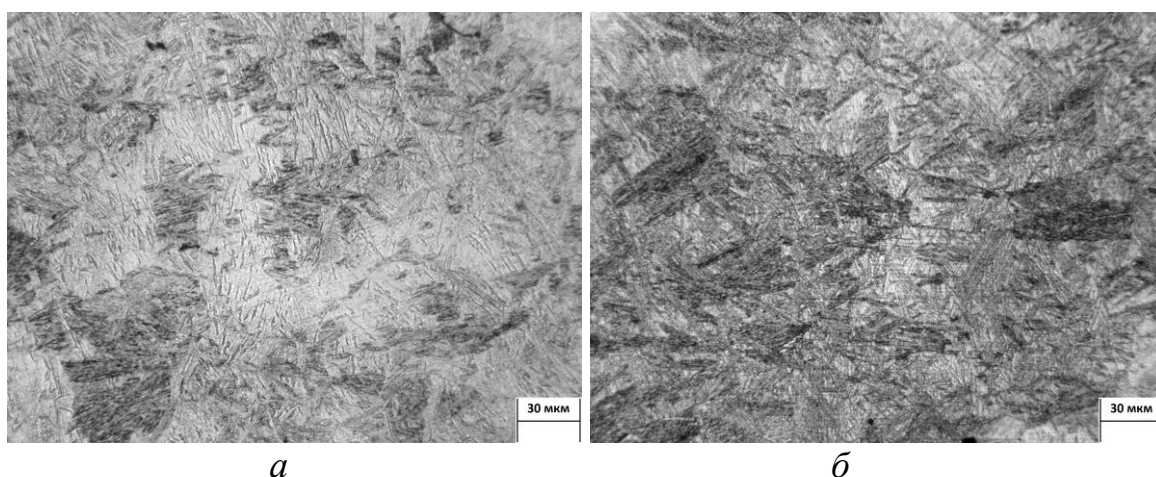


Рис. 4. Микроструктура заготовки диаметром 100 мм из стали 25Г2С2Н2МА после охлаждения в масле: *а* – 5 мм от поверхности; *б* – 25 мм от поверхности

Таким образом, результаты численного моделирования процесса охлаждения заготовок удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными, а использованная методика [1] может успешно использоваться в промышленности при определении параметров термической обработки стальных деталей.

Список литературы

1. *Майсурадзе М. В.* Методика численного моделирования процесса охлаждения при термической обработке стальных изделий простой формы / М. В. Майсурадзе, Ю. В. Юдин, М. А. Рыжков // *Сталь*. 2013. № 10. С. 90–94.